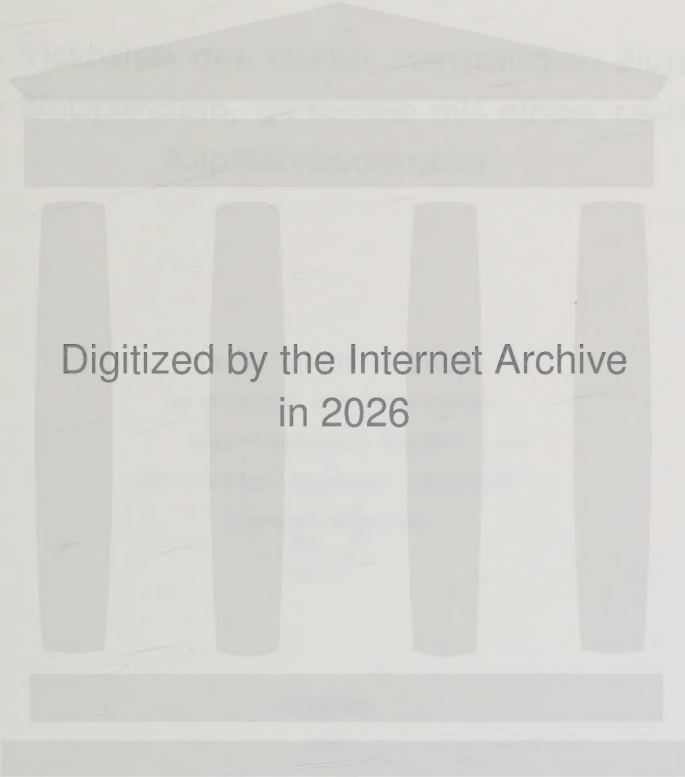


**Die Viskosität des vitalen menschlichen Blutes
von Blutspendern, gemessen mit einem neuen
Kapillarviskosimeter**

von
Günther Neeck
aus
Erlangen/Bayern

1979



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Aus der Hautklinik, Vorstand Prof. Dr. G. Weber

Klinikum Nürnberg

Die Viskosität des vitalen menschlichen Blutes von Blutspendern, gemessen mit einem neuen Kapillarviskosimeter

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde

dem Fachbereich Medizin

der Friedrich - Alexander - Universität

Erlangen - Nürnberg

vorgelegt

von

Günther Neeck

aus

Erlangen/Bayern

Gedruckt mit Erlaubnis des Fachbereichs Medizin
der Universität Erlangen-Nürnberg



Dekan: Prof. Dr. E. Rügheimer

Referent: Prof. Dr. G. Weber

Korreferent: Prof. Dr. W.-D. Keidel

Tag der mündlichen Prüfung: 07.03.1979

Für die Ermöglichung
des Medizinstudiums
aus Dankbarkeit
meiner Mutter gewidmet

Vorwort

Für die Überlassung der Arbeit danke ich Herrn Professor Dr.med.G.Weber, Vorstand der Hautklinik des Klinikums Nürnberg.

Des weiteren danke ich dem Vorstand des Instituts für Technische Chemie der Universität Erlangen-Nürnberg Herrn Professor Dr.rer.nat.S.Peter und insbesondere Herrn Dipl.Ing.J.Künzel für die gute Zusammenarbeit.

Mein Dank gilt ebenso Herrn Chefarzt Dr.med.Martin, Leiter des Serologischen Instituts des Städtischen Klinikums Nürnberg, und Herrn Dr.med.Weidemann, Leiter der Klinischen Chemie, sowie Herrn Dr.W.Gunselmann für die freundliche Unterstützung dieser Arbeit.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung

1.1. Definition der Viskosität

1.2. Viskosität des menschlichen Blutes

1.3. Klinische Bedeutung der Blutviskosität

2. Probanden und Methodik

2.1. Kriterien der Probendenauswahl, Parameter

2.2. Der Meßvorgang

3. Ergebnisse

3.1. Werte der Vollblutviskosität

3.2. Vollblutviskosität und Hämatokrit

3.3. Vollblutviskosität und Alter

3.4. Vollblutviskosität und Blutgruppen des ABO-Systems

4. Diskussion

4.1. Vollblutviskosität und zelluläre Bestandteile des Blutes

4.2. Vollblutviskosität in Abhängigkeit vom Alter

4.3. Vollblutviskosität und ABO-System

5. Zusammenfassung

6. Literaturverzeichnis

7. Tabellarischer Anhang

Lebenslauf

1. Einleitung

1.1. Definition der Viskosität

Der Begriff "Viskosität" läßt sich definieren nach dem Modell zweier Platten mit der Oberfläche A und einem Abstand Y , zwischen denen sich eine Substanz mit der Zähigkeit η befindet. Werden beide Platten mit der Kraft F und der Geschwindigkeit V gegeneinander verschoben, so muß eine Gegenkraft F^* überwunden werden, die umso größer ist, je zäher, d.h. je höher die Viskosität η der sich zwischen den Platten befindlichen Substanz ist.

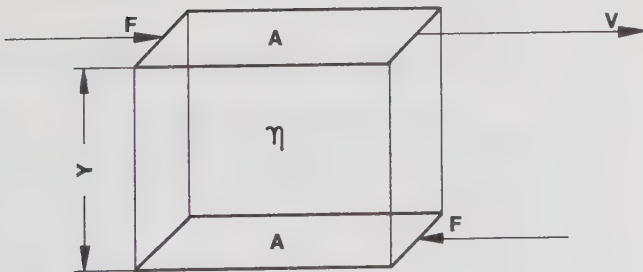


Abbildung 1.: Schema zur Definition der Viskosität.

Dem Begriff der Schubspannung oder der Scherkraft τ entspricht der Quotient von Kraft zu Fläche:

$$\tau = \frac{F}{A} \quad \left(\frac{\text{dyn}}{\text{cm}^2} \right)$$

Der Schergeschwindigkeit oder dem Schergrad D entspricht:

$$D = \frac{V}{Y} \quad \left(\text{s}^{-1} \right)$$

Die Viskosität η läßt sich nun darstellen als Quotient von Schubspannung zu Schergeschwindigkeit oder Scherkraft zu Schergrad:

$$\eta = \frac{\tau}{D} \quad \left(\frac{\text{dyn} \cdot \text{s}}{\text{cm}^2} \right)$$

Im Gedenken an Poiseuille wurde die Einheit der Viskosität bisher in Poise (P) ausgedrückt. Seit dem 1.1.78 gilt als neue Einheit Pasqual x Sekunde (Pa.s), wobei ein Hundertstel Poise (cP) einem Tausendstel Pasqual x Sekunde (mPa.s) entspricht.

Einen Eindruck von den Größenordnungen welche Viskositätswerte gebräuchliche Substanzen haben, vermittelt Tabelle 1.

Tab. 1 : Größenordnungsmäßige Viskositätsangaben einiger Substanzen bei Raumtemperatur in mPa.s (Hediger).

Luft, Gase allgemein	0,01-0,02
Benzin	0,65
Wasser	1
Quecksilber	1,5
Motoröle	150-400
Getriebeöle	300-800
Reines Glycerin	1500
Bitumen	10^9

1.2. Viskosität des menschlichen Blutes

Die Beziehung $\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}}$ wurde erstmals von Newton aufgestellt und gilt für Lösungen von niedrigmolekularen Stoffen, bzw. sehr verdünnten makromolekularen Stoffen. Die Viskosität η entspricht dabei einer Stoffkonstanten. Dagegen gehören insbesondere Suspensionen, deren Teilchen starke Wechselbeziehungen verbinden zu den sog. Nicht-Newtonschen Flüssigkeiten, weil bei ihnen die Viskosität in Abhängigkeit von

der Schergeschwindigkeit variiert. Dieser Zusammenhang ist im Begriff der Strukturviskosität gefaßt, welche die reversible Zusammenballung von Teilchen zu Aggregaten in Suspensionen beschreibt, wie dies erstmals von Hess (1915) dargestellt worden ist. Für menschliches Blut gilt nun, daß die Teilchen, und hier stehen die Erythrozyten quantitativ im Vordergrund, bis zu einer bestimmten Grenze der Schergeschwindigkeit aggregieren. Bei Schergeschwindigkeiten über 200 s^{-1} , sind die Erythrozyten dagegen sicher frei dispers, so daß die Bedingungen einer Newtonschen Flüssigkeit vorliegen (Chien, 1970). Die Viskosität ist jetzt abhängig von der Menge der roten Blutkörperchen. Leukozyten und Thrombozyten sind relativ dazu in so geringen Mengen vorhanden, daß sie keinen meßbaren Einfluß auf die Viskosität zu haben scheinen. Neben den zellulären Bestandteilen, meßbar durch den Hämatokrit, sind das Blutplasma mit den Plasmainhaltsstoffen für den Wert der Vollblutviskosität verantwortlich (Murata, 1976).

1.3. Klinische Bedeutung der Blutviskosität

Die Bedeutung der Fließeigenschaften des Blutes gilt für viele epidemiologisch wichtige Erkrankungen heute als gesichert (Weber u.a., 1979). Durch pathologische Viskositätswerte verursachte Änderungen der Hämodynamik beeinflussen entscheidend akut lebensbedrohliche Situationen, wie Schockzustände z.B. bei Verbrennungen (Baxter et al., 1967), Myocardinfarkte (Rosenblatt et al., 1965), aber auch Bereiche wie periphere und zentrale Verschußkrankheiten der Gefäße (Dormandy et al., 1973). Weiter wird angenommen, daß die Absiedlung von Krebszellen, also die Setzung von Metastasen, nicht unerheblich durch die Fließeigenschaften des strömenden Blutes beeinflußt werden kann (Harkness, 1971). Desgleichen mißt man dem Verhalten der Viskosität Bedeutung im Chirurgischen Bereich bei Wundheilung und Anwachsen von Transplantaten bei (Härtwig et al., 1976). Weiter scheint es zu sein, daß Viskositätsänderungen des Blutes auch für die Erklärung solcher Problemkreise eine Rolle spielen, wie Erkrankungen durch chronische Stresssituationen (Still, 1968), Folgekrankheiten durch Nikotin und Alkoholabusus (Chmiel et al., 1973), Komplikationen oraler Kontrazeptiva (Aronson et al., 1971).

Trotz dieser, hier nur ausschnittsweise angegebenen Bedeutung der Blutviskosität, hat die routinemäßige Bestimmung als diagnostisches und therapeutisches Kriterium heute noch kaum Eingang in die Klinik gefunden. Mehrere Gründe sind hierfür verantwortlich: So arbeiten die bisher verwandten Geräte, z.B. die Rotations-Viskosimeter, derart aufwendig, daß sie vorwiegend in Labors für experimentelle Arbeiten eingesetzt wurden. Zwar existiert eine Vielzahl veröffentlichter Daten und Fakten bezüglich der Blutviskosität, doch ist ihre Vergleichbarkeit aufgrund sehr unterschiedlicher Meßbedingungen begrenzt und damit für Klinik und Praxis wertlos. Dies gilt vor allem für Temperaturen und Schergeschwindigkeiten, die in erheblichen Variationen verwendet werden und daher keine Normbefunde für physiologische und pathologische Bedingungen erbringen. Um diesem methodischen Dilemma zu entgehen wurde von Peter, Künzel, Weber und Kreisel (1978) ein Kapillarviskosimeter mit folgenden Eigenschaften entwickelt:

- a) Es mißt nicht vorbehandeltes, also vitales menschliches Blut.
- b) Die Handhabung des Gerätes ist äußerst einfach und verlangt keine Spezialkenntnisse.
- c) Es werden nur geringe Mengen Blut benötigt.
- d) Der Meßvorgang ist schnell.

e) Die Reinigung des Gerätes erfolgt automatisch.
Die vorliegende Arbeit hat zum Ziel, den Normalbereich der Viskosität des menschlichen Blutes mit diesem Gerät zu ermitteln, und den Einfluß verschiedener im weiteren erläuteter Parameter auf die Blutviskosität zu untersuchen.

2. Probanden und Methodik

2.1. Kriterien der Probandenauswahl, Parameter

Für unsere Messungen stellten sich 197 Blutspender des Serologischen Instituts, Klinikum Nürnberg, zur Verfügung. Routinemäßig wird jeder Blutspender folgenden Untersuchungen unterzogen:

Vor der Aufnahme in die Blutspenderkartei wird die betreffende Person von einem Arzt, wie bei Aufnahme zu einer stationären Behandlung üblich, befragt und mit einfachen Techniken (RR-Bestimmung, Palpation, Perkussion und Auskultation) untersucht. Weiter wird bei jedem Spender eine Röntgen-Thoraxaufnahme im ant.-post. Strahlengang angefertigt. An Laboruntersuchungen werden vorgenommen: Transaminasen, WAR und Australia-Antigen, Harnsediment und Blutbild. Wenn unter diesen Untersuchungen keine pathologischen Auffälligkeiten zu bemerken sind, wird der Betreffende als Blutspender akzeptiert.

Bei unseren Probanden registrierten wir zusätzlich folgende Parameter:

Hämatokrit (Hkt) mit der Mikrohämatokrit-Zentrifuge (15000g)

Blutkörperchensenkungsgeschwindigkeit (BSG) nach Westergren

Serum-Gesamteiweiß (GE): Photometrisch nach Biuret-Methode (Autoanalyzer LKB-Ultrolab^R-System),
 Serum-Albumin (A): Photometrisch nach Bromkresol-Grün-Methode (Autoanalyzer gilford instrument 300T),
 Cholesterin (Chol): Photometrisch nach CHOD-PAP-Methode (Autoanalyzer LKB Ultrolab System),
 Triglyceride (TG): Photometrisch, vollenzymatische Methode (Autoanalyzer LKB-Ultrolab^R-System)
 Blutzucker (BZ): Photometrisch GOD-Perid-Methode (Eppendorf-Photometer)

$\bar{x} \pm s$		Mittelwerte unserer Probanden	Normalwerte nach Literat.	Dimension
Hkt	m	46 $\pm$ 3,6	47 $\pm$ 7,0	%
	w	40,9 $\pm$ 2,8	42 $\pm$ 5,0	%
BSG	m	8/18	3-8/5-18	$\frac{\text{mm}}{1h} / \frac{\text{mm}}{2h}$
	w	9/22	6-11/6-20	
GE	m+w	7,21 $\pm$ 0,44	6,6 - 8,6	g/100ml
A	m+w	5,29 $\pm$ 0,35	3,8 - 5,0	g/100ml
Chol	m+w	212 $\pm$ 45	150 - 260	mg/100ml
TG	m+w	130 $\pm$ 86	70 - 170	mg/100ml
BZ	m+w	82 $\pm$ 15	45 - 95	mg/100ml

Tabelle 2.: Mittelwerte unserer Probanden (Normalwerte nach Schettler, 1976, General Diagnostics, 1974, Merck, 1974)

2.2. Der Meßvorgang

Unser Kapillarviskosimeter arbeitet, wie bereits oben erwähnt, mit nicht antikoaguliertem also nativem Blut. Die Meßpunkte liegen bei Schergeschwindigkeiten von 1500, 2000, 2500 und 3000 s^{-1} , wo sichere Bedingungen einer Newtonschen Flüssigkeit herrschen. Die Meßtemperatur lag konstant bei 25 Grad Celcius. Die Messungen wurden jeweils morgens zwischen 8 Uhr und etwa 11 Uhr durchgeführt. Dies erschien uns notwendig, nachdem Ehrly (1973) einen 24 Stunden-Rhythmus für Hämatokrit und Blutviskosität nachwies.

Jeweils am Ende einer Blutentnahme von ca. 500 ml aus der in einer geeigneten Cubitalvene gelegenen Spendernadel (Durchmesser 1,7mm) wurden unseren Blutspendern nochmals etwa 25 ml Blut für die Bestimmung der Parameter entnommen. 8 ml davon wurden unmittelbar in ein nichtheparinisiertes Spezialröhrchen abgenommen und spätestens nach einer Minute über einen Ansaugstutzen dem Viskosimeter zugeführt. Eine vorzeitige Gerinnung des Blutes und somit Verfälschung der Messung wird durch Verwendung eines Röhrchens aus Polypropylen und durch Vermeidung eines Blut-Luft-Kontaktes sowie durch sofortiges Ansaugen des Blutes ohne Umfüllmaßnahmen

verhindert.

Um die Frage zu beantworten, inwieweit die von uns gemessenen Viskositätswerte denen von Gesunden, also sog. Normalwerten entsprechen, gilt es das zu definieren, was wir unter "gesund" verstehen:

Der Definition von Simonson (1966) entsprechend, legten wir fest, daß

- a) wer sich selbst subjektiv als gesund fühlt,
 - b) offensichtlich an keiner Krankheit leidet
(diagnostizierbar durch einen Arzt) und
 - c) keine biochemischen Abnormitäten zeigt (definiert durch gängige Labormethoden)
- einem "gesunden" Kollektiv zugeordnet werden kann.

3. Ergebnisse

3.1. Werte der Vollblutviskosität

Wie seit längerem bekannt, sind die Viskositätswerte des Blutes für weibliche und männliche Personen verschieden, was wohl in erster Linie auf ihre unterschiedlichen Hämatokritwerte zurückzuführen ist (Barras, 1965).

Der tabellarische Anhang am Ende dieser Arbeit zeigt die einzelnen Viskositätswerte unserer 197 Probanden. Aus den 4 Werten, gemessen bei den verschiedenen Schergeschwindigkeiten, wurde jeweils der Mittelwert gebildet.

Die Häufigkeitsverteilung der Vollblutviskositätswerte zeigen die beiden Histogramme Abbildung 2. und Abbildung 3. mit den beiden Häufigkeitstabellen Tabelle 3. und Tabelle 4..

Tabelle 3.: Häufigkeitstabelle der Vollblutviskositäts-
werte für Männer (n=156), 3 Werte lagen außer-
halb der obersten Bereichsgrenze $\eta = 5,50 \text{ mPa}\cdot\text{s}$

Viskositätsbereich	Besetzungszahl
3,10 - 3,20 mPa·s	0
3,20 - 3,30 mPa·s	0
3,30 - 3,40 mPa·s	2
3,40 - 3,50 mPa·s	0
3,50 - 3,60 mPa·s	2
3,60 - 3,70 mPa·s	2
3,70 - 3,80 mPa·s	6
3,80 - 3,90 mPa·s	9
3,90 - 4,00 mPa·s	11
4,00 - 4,10 mPa·s	28
4,10 - 4,20 mPa·s	18
4,20 - 4,30 mPa·s	14
4,30 - 4,40 mPa·s	11
4,40 - 4,50 mPa·s	16
4,50 - 4,60 mPa·s	8
4,60 - 4,70 mPa·s	4
4,70 - 4,80 mPa·s	6
4,80 - 4,90 mPa·s	5
4,90 - 5,00 mPa·s	5
5,00 - 5,10 mPa·s	3
5,10 - 5,20 mPa·s	1
5,20 - 5,30 mPa·s	3
5,30 - 5,40 mPa·s	0
5,40 - 5,50 mPa·s	0

Tabelle 4.: Häufigkeitstabelle der Vollblutviskositäts-
werte für Frauen (n=41).

Viskositätsbereich	Besetzungszahl
2,60 - 2,70 mPa·s	0
2,70 - 2,80 mPa·s	0
2,80 - 2,90 mPa·s	0
2,90 - 3,00 mPa·s	1
3,00 - 3,10 mPa·s	0
3,10 - 3,20 mPa·s	2
3,20 - 3,30 mPa·s	1
3,30 - 3,40 mPa·s	2
3,40 - 3,50 mPa·s	4
3,50 - 3,60 mPa·s	3
3,60 - 3,70 mPa·s	7
3,70 - 3,80 mPa·s	3
3,80 - 3,90 mPa·s	6
3,90 - 4,00 mPa·s	5
4,10 - 4,20 mPa·s	1
4,20 - 4,30 mPa·s	2
4,30 - 4,40 mPa·s	2
4,40 - 4,50 mPa·s	2
4,50 - 4,60 mPa·s	0
4,60 - 4,70 mPa·s	0

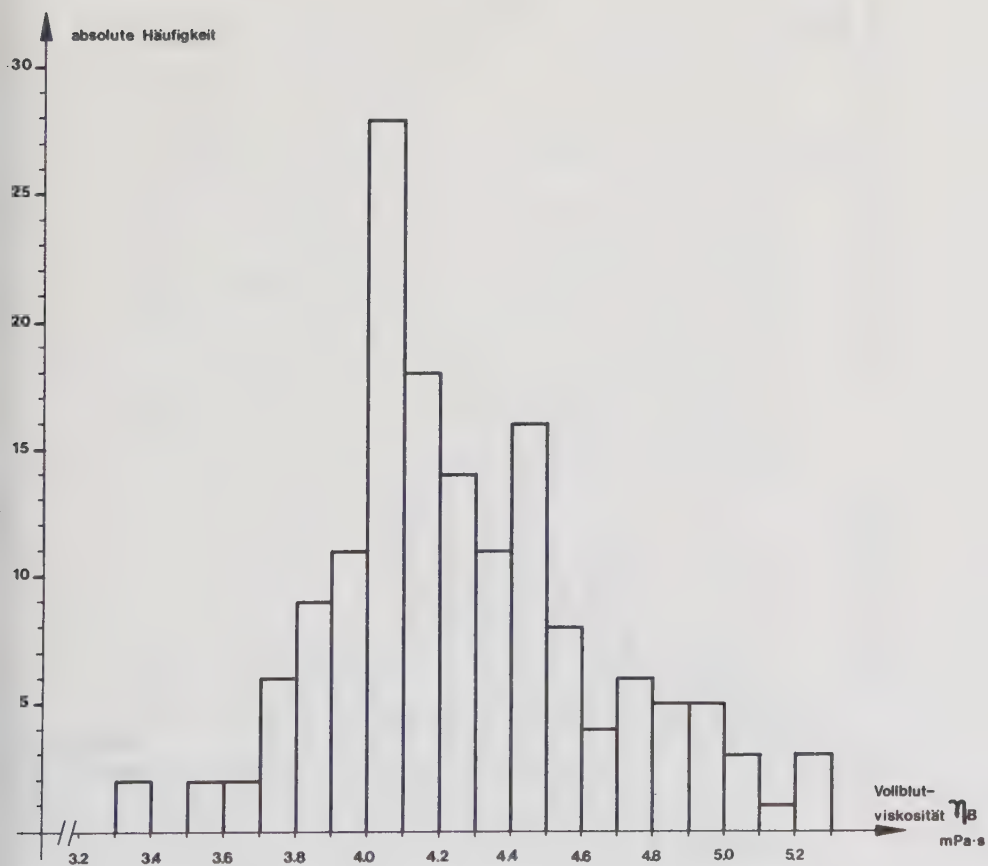


Abb. 2 Histogramm der Vollblutviskosität männlicher Probanden (n = 156)

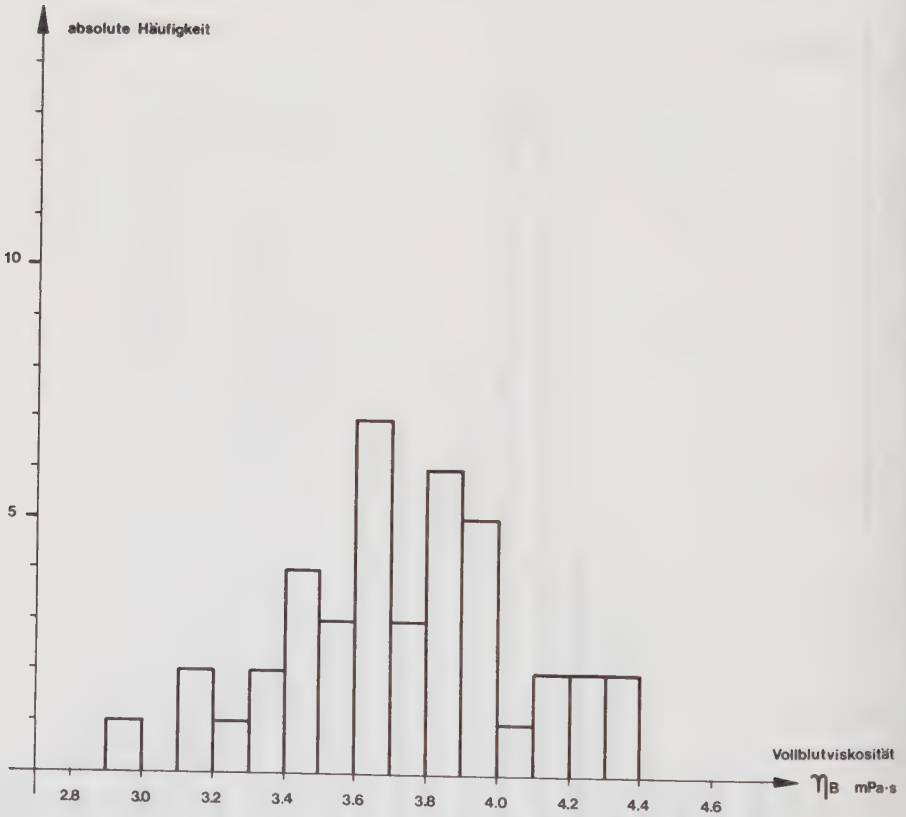


Abb. 3 Histogramm der Vollblutviskosität weiblicher Probanden (n = 41)

Als arithmetischen Mittelwert der männlichen Probanden (n=156) ergab sich der Wert von

$$\bar{\eta}_m = 4,29 \text{ mPa}\cdot\text{s}$$

sowie als Mittelwert der weiblichen Probanden (n=41) der Wert von

$$\bar{\eta}_w = 3,72 \text{ mPa}\cdot\text{s}$$

Als Normbereich gilt nach Ausschluß von Extremwerten (bei den Männern 3 Werte), der durch den niedrigsten und höchsten Wert des untersuchten Bestandteils begrenzte Werteabschnitt, der durch 95% einer als gesund zu bezeichnenden (s.o.) Anzahl von Probanden zu finden ist. Dabei fallen jeweils 2,5% an der unteren und der oberen Bereichsgrenze weg. Der 95%-Bereich reicht bei unseren männlichen Probanden von

$$3,66 - 5,23 \text{ mPa}\cdot\text{s}$$

und unseren weiblichen Probanden von

$$3,16 - 4,30 \text{ mPa}\cdot\text{s} \quad .$$

Um den Einfluß des Geschlechts auf die Vollblutviskosität zu prüfen, führten wir eine Zweiweg-Varianzanalyse durch. Die Voraussetzung der Normalverteilung war, wie die Abbildungen 2 und 3 zeigen (s.o.), nicht streng erfüllt. Das Ergebnis der Analyse ist in Tabelle 5 dargestellt. Es ergab sich ein statistisch gesicherter Geschlechtsunterschied ($p \leq 0,01$). Das in Tabelle 5 mitaufgeführte Ergebnis über die Blutgruppen wird in Kapitel 3.4. behandelt.

Ursprung der Variation	FG	SAQ	MAQ	F-Wert	Signifikanz
Geschlecht	1	10,97823	10,97823	63,15	$p \leq 0,001$
Blutgruppen	3	1,134657	0,3782191	2,176	n.s. ($p \geq 0,05$)
Wechselwirkung	3	0,313719	0,1045731	0,6015	n.s. ($p \geq 0,05$)
Rest	190	33,03080	0,1738463		
Gesamt	197	44,83648	0,2275963		

Tabelle 5.: Zweiweg-Varianzanalyse unserer 197 gemessenen Vollblutviskositäts-
werte nach Geschlecht und Blutgruppen. FG = Freiheitsgrade; SAQ =
Summe der Abweichungsquadrate; MAQ = Mittlere Abweichungsquadrate;
F-Wert = Prüfgröße; p = Irrtumswahrscheinlichkeit; n.s. = nicht
signifikant.

3.2. Vollblutviskosität und Hämatokrit

Wie aus dem tabellarischen Anhang ersichtlich ist, bestimmten wir für alle 197 Probanden jeweils den Hämatokrit. Die daraus errechneten arithmetischen Mittelwerte mit Standardabweichungen sind aus Tabelle 2. ersichtlich.

In welcher Form aber war eine Relation zwischen Vollblutviskosität und Hämatokrit zu formulieren? Ausgang der Überlegung war die Arbeit von Franck (1953), der nachwies, daß die Maxwellsche Gleichung über Impulstransporte in elektrischen Feldern ebenso für die Zähigkeitsbestimmung von Kugelsuspensionen brauchbar ist:

$$\eta_m = \eta_z \frac{1 - (1 - \frac{\eta_e}{\eta_z} \cdot k) \cdot V_e}{1 + (k-1) \cdot V_e}$$

$$k = \frac{3\eta_z}{2\eta_z + \eta_e}$$

Dabei ist η_m die Zähigkeit der gesamten Suspension, η_z die der zusammenhängenden Grundmasse und η_e die des eingesprengten Materials. V_e sei der Volumenanteil der eingesprengten Masse.

Da das Fließverhalten von Suspensionen mittels der Franckschen Gleichung gut beschrieben werden kann, liegt es nahe, Blut in erster Näherung ebenfalls als

Suspension aufzufassen und nach dem Franckschen Modell zu behandeln.

In einer parallelen Arbeit wurden durch Pöllath die 197 von uns gemessenen Viskositätswerte unter Zugrundelegung der Franckschen Gleichung einer multiplen nichtlinearen Regression (Methode nach Marquart) unterzogen. Unter Zuhilfenahme einer Großrechenanlage Typ TR 440 des Regionalen Rechenzentrums Erlangen wurden Werte für die Plasmaviskosität, 1,55 mPa·s für weibliche, 1,61 mPa·s für die männlichen Probanden gefunden, sowie ein Wert für die "Erythrozytenviskosität" $\eta_e = 18$ mPa·s. Da die Francksche Gleichung nur für kugelförmige Teilchen exakt gilt, muß man η_e als die Viskosität eines kugelförmigen Teilchens auffassen, welches die selben Fließeigenschaften wie ein Erythrozyt hat; anders ausgedrückt: kugelförmige Teilchen müßten die Viskosität η_e haben, damit sie genauso fließen wie Erythrozyten. Für Blut lautet demnach die Francksche Modellgleichung:

$$\eta_B = \eta_{PI} \frac{1 - (1 - \frac{\eta_E}{\eta_{PI}})^k \cdot \frac{Hkt}{100}}{1 + (k-1) \cdot \frac{Hkt}{100}}$$

$$k = \frac{2\eta_{PI}}{\eta_{PI} + \eta_E}$$

Dabei entspricht also die Zähigkeit der gesamten Suspension η_m der Vollblutviskosität η_B , die Zähigkeit

der zusammenhängenden Grundmasse η_z der Plasma-
viskosität η_{Pl} , die Zähigkeit des eingesprengten
Materials η_e der Viskosität der Erythrozyten η_E
und schließlich der Volumenanteil der eingesprengten
Masse V_e , dem Hämatokrit $\left(\frac{Hkt}{100}\right)$.

Tabelle 6. zeigt Vollblut-Viskositäts-Werte in Ab-
hängigkeit von Hämatokrit, jeweils berechnet nach der
Franckschen Gleichung. In Abbildung 4. sind die Vis-
kositätswerte unserer Probanden und die zugehörigen
Hämatokritwerte eingetragen, sowie laut Tabelle 6.
die Kurven nach der Franckschen Gleichung einge-
zeichnet.

Tabelle 6.: Werte der Vollblutviskosität berechnet nach Franckscher Gleichung für verschiedene Hämatokritwerte getrennt nach weiblich und männlich.

Viskosität mPa·s (m)	Hämatokrit % · 10 ⁻²	Viskosität mPa·s (w)	Hämatokrit % · 10 ⁻²
1,600	0,000	1,550	0,000
1,793	0,050	1,739	0,050
2,002	0,100	1,943	0,100
2,230	0,150	2,166	0,150
2,479	0,200	2,409	0,200
2,751	0,250	2,676	0,250
3,051	0,300	2,970	0,300
3,382	0,350	3,295	0,350
3,751	0,400	3,657	0,400
4,163	0,450	4,063	0,450
4,628	0,500	4,521	0,500
5,155	0,550	5,041	0,550
5,758	0,600	5,637	0,600
6,455	0,650	6,327	0,650
7,269	0,700	7,136	0,700
8,234	0,750	8,097	0,750
9,394	0,800	9,257	0,800
10,817	0,850	10,685	0,850
12,601	0,900	12,486	0,900
14,907	0,950	14,829	0,950
18,00	1,000	18,000	1,000

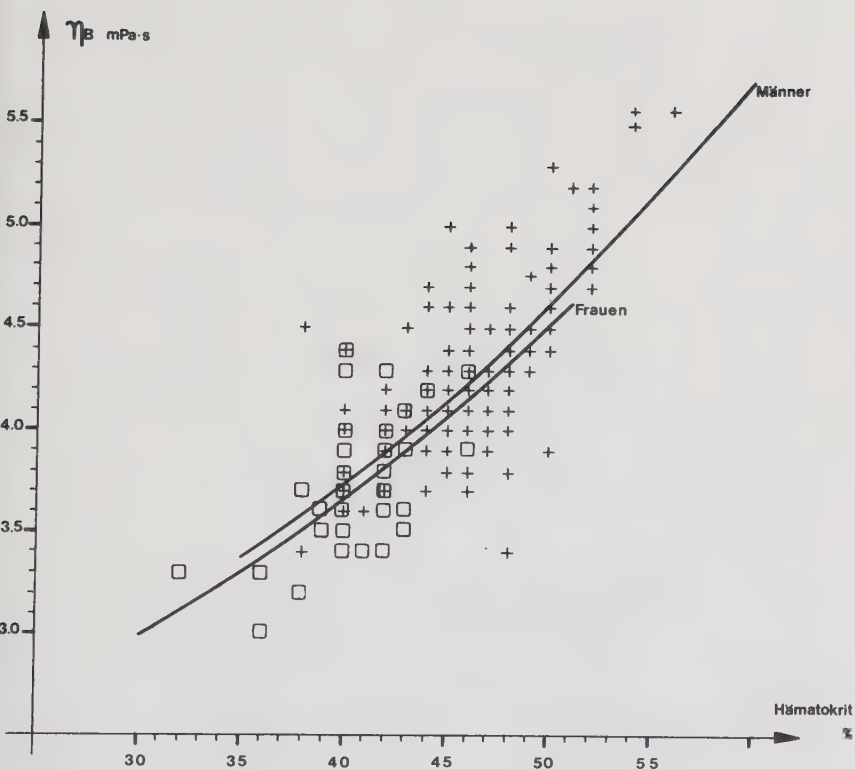


Abbildung 4.: Vollblutviskosität in Abhängigkeit vom Hämatokrit für männliche ($n = 156$) und weibliche ($n = 41$) Probanden. ++++ für die Werte männlicher, oooo für die Werte weiblicher Probanden; in die Werteschar hineingelegt sind die beiden Kurven der Franckschen Gleichung, gebildet nach den Wertepaaren der Tab.6.

3.3. Vollblutviskosität und Alter

Um einen möglichen Zusammenhang zwischen den gemessenen Werten der Vollblutviskosität und dem Alter unserer Probanden zu überprüfen, führten wir eine lineare Korrelation und Regressionsberechnung durch. Für die weiblichen Probanden war ein deutlicher Anstieg der Vollblutviskosität mit dem Alter zu ermitteln. Der empirische Korrelationskoeffizient betrug $r = + 0,55$ bei 41 weiblichen Probanden. Damit ist bei 1% Irrtumswahrscheinlichkeit ein annähernd linearer Zusammenhang zwischen Vollblutviskosität und Alter statistisch gesichert. Bei den männlichen Probanden war ein solcher Zusammenhang nicht zu finden.

Die Abbildungen 5 und 6 zeigen die Häufigkeitsverteilung der Altersgruppen unserer Probanden. In Abbildung 7. ist der Zusammenhang zwischen Vollblutviskosität und Alter bei den weiblichen Probanden graphisch dargestellt.

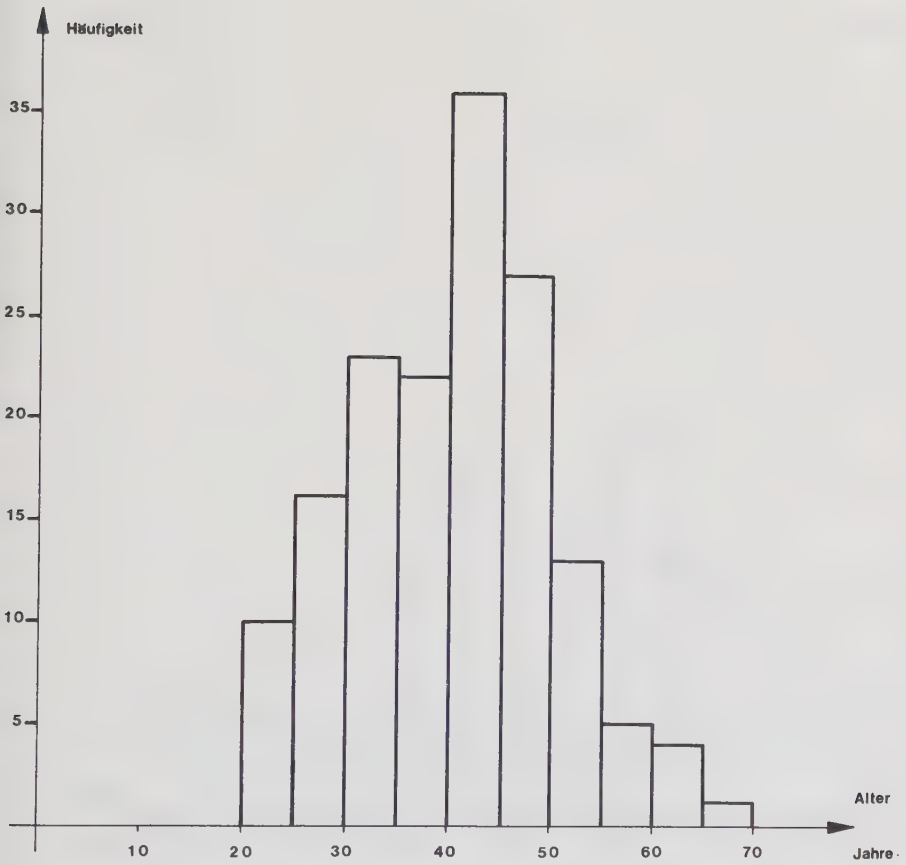


Abbildung 5.: Histogramm des Alters der männlichen Probanden (n = 155).

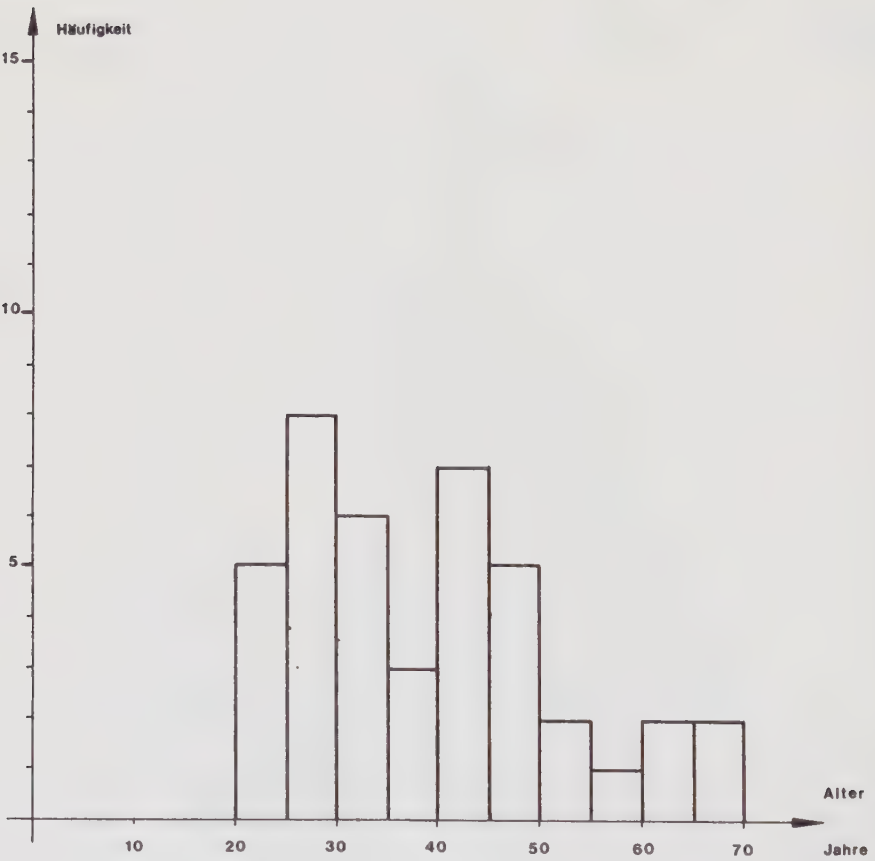


Abbildung 6.: Histogramm des Alters der weiblichen Probanden ($n = 41$)

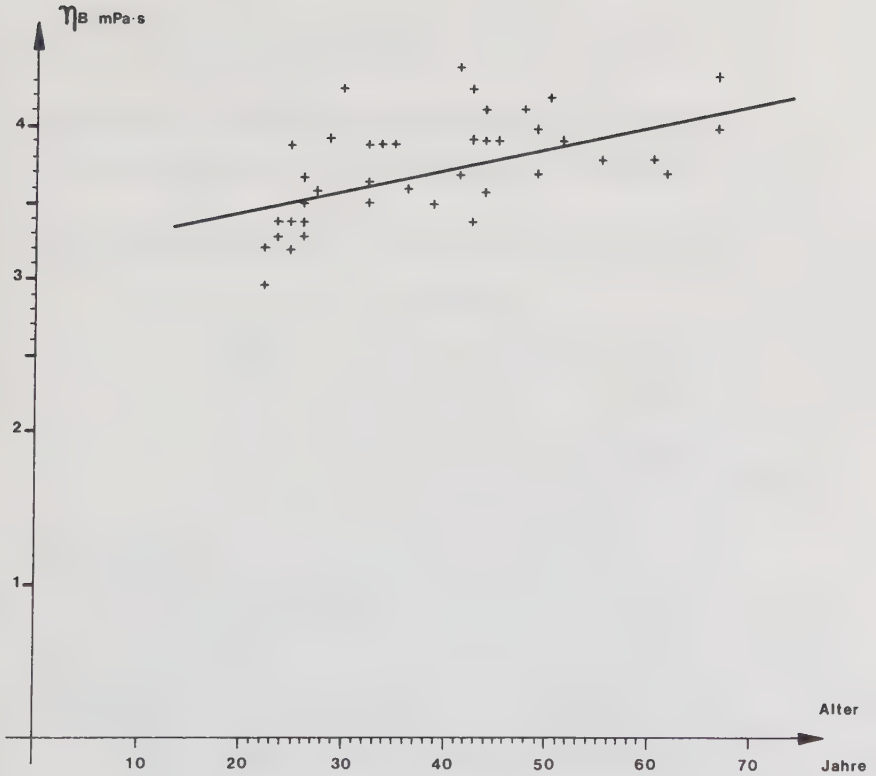


Abbildung 7.: Vollblutviskosität in Abhängigkeit vom Alter der weiblichen Probanden ($n = 41$).

Korrelationskoeffizient $r = +0,55$

Gleichung der Geraden: $y = 3,16 + 0,0147 \cdot x$

Irrtumswahrscheinlichkeit $p \leq 0,01$

3.4. Vollblutviskosität und Blutgruppen des ABO-Systems

Tabelle 7 zeigt die Verteilung unserer Probanden auf die verschiedenen Gruppen des ABO-Systems. Als Vergleich ist die Häufigkeitsverteilung für die mittlereuropäische Bevölkerung nach Keidel (1970) angegeben.

Tabelle 7.: Anteil in % der einzelnen Blutgruppen des ABO-Systems.

	O	A	B	AB
Westeuropa	40%	40%	10%	5%
eigene Prob.	41%	43%	7%	7%

Die Abhängigkeit der Viskosität von den Blutgruppen wurde in der bereits angeführten Zweiweg-Varianzanalyse mitgeprüft. Es ergab sich bei uns weder ein Hinweis auf einen Zusammenhang zwischen Viskosität und Blutgruppen, noch auf eine Wechselwirkung von Blutgruppen und Geschlecht.(s.o. Tabelle 5).

4. Diskussion

4.1. Vollblutviskosität und die zellulären Bestandteile des Blutes

Die Vergleichbarkeit der Viskositätsmessungen wird erschwert durch die Verwendung verschiedenster Geräte und damit Methoden, als auch durch unterschiedliche Meßbedingungen, was vor allem für Schergeschwindigkeiten und Meßtemperaturen gilt.

Im folgenden sind Ergebnisse einiger Autoren angeführt, welche unter ähnlichen Meßbedingungen ermittelt wurden, wie die unseren. Zum Vergleich seien nochmals die von uns bestimmten Mittelwerte angegeben:

$$\bar{\eta} = 4,29 \text{ mPa}\cdot\text{s} \quad \text{für Männer}$$

und $\bar{\eta} = 3,72 \text{ mPa}\cdot\text{s} \quad \text{für Frauen,}$

gemessen bei einer Schergeschwindigkeit von $D = 1500\text{-}3000 \text{ s}^{-1}$ und einer Temperatur von $t = 25^{\circ}\text{C}$. Rand et. al. (1964) maßen mit einem Cone-Plate-Viskosimeter bei $D = 212 \text{ s}^{-1}$ und $t = 27^{\circ}\text{C}$ mit durch Verdünnung auf $\text{Hkt} = 40\%$ vorbehandelten Blutproben und errechneten damit einen Mittelwert von

$$\bar{\eta} = 4,8 \text{ mPa}\cdot\text{s} .$$

Shadid (1973) verwandte ein sog. Stactometer (Methode "drop Test", nach Shadid, 1955) bei $D = 1041 \text{ s}^{-1}$ und $t = 25^{\circ}\text{C}$, was von diesen Parametern aus betrachtet

praktisch identisch mit unseren Meßbedingungen ist.

Er errechnete Mittelwerte von

$$\eta = 4,2 \text{ mPa}\cdot\text{s} \quad \text{für Männer}$$

und $\eta = 3,6 \text{ mPa}\cdot\text{s} \quad \text{für Frauen.}$

Dintenfass (1973) bestimmte mit einem Rotationsviskosimeter bei $t = 37^{\circ}\text{C}$ und $D = 180 \text{ s}^{-1}$ Mittelwerte von

$$\eta = 5,05 \text{ mPa}\cdot\text{s} \quad \text{für Männer}$$

und $\eta = 4,21 \text{ mPa}\cdot\text{s} \quad \text{für Frauen.}$

Insbesondere für die Resultate von Shadid läßt sich eine gute Übereinstimmung mit unseren Ergebnissen erkennen. Bei den höheren Werten von Dintenfass scheinen sich die Aggregation der Erythrozyten bei der von ihm gewählten Schergeschwindigkeit bemerkbar zu machen. Wie bereits oben erwähnt herrschen erst ab $D = 200 \text{ s}^{-1}$ Bedingungen einer Newtonschen Flüssigkeit.

Um Viskositätswerte mit verschiedenem Hämatokrit vergleichen zu können, mußten bisher die Blutproben mit der Methode der Verdünnung vorbehandelt werden, um identische Hämatokritwerte zu erhalten (Schmid-Schönbein 1973, Leonhardt 1977). Mit der Anwendung der Franckschen Gleichung ist nunmehr erstmals die Möglichkeit gegeben, rechnerisch den Einfluß des Hämatokrits auf die Vollblutviskosität zu erfassen, womit eine Standardisierung von Blutproben bezüglich

des Hämatokrits entfällt.

Dies sei an einem Beispiel erläutert:

Gemessen wurden bei 25°C folgende Größen:

$$\eta = 4,16 \text{ mPa}\cdot\text{s}$$

$$\text{Hkt} = 45\%$$

durch Einsetzen der Werte in die Francksche Gleichung unter Berücksichtigung einer mittleren "Erythrozytenviskosität" von $\eta_e = 18 \text{ mPa}\cdot\text{s}$, erhält man (z.B. mit Hilfe eines Iterationsverfahrens) einen Wert für die Plasmaviskosität von $\eta_{p1} = 1,60 \text{ mPa}\cdot\text{s}$.

Bei einer anderen Messung ergibt sich:

$$\eta = 3,75 \text{ mPa}\cdot\text{s}$$

$$\text{Hkt} = 40\%$$

Diese beiden Werte in die Francksche Gleichung eingesetzt, ergibt ebenfalls eine Plasmaviskosität von $\eta_{p1} = 1,60 \text{ mPa}\cdot\text{s}$. Der Unterschied in den gemessenen Vollblutviskositätswerten war also allein durch den Hämatokritunterschied verursacht, da, wie durch die Francksche Gleichung nachweisbar ist, die Plasmaviskosität identisch war. Die Anwendung von Tabellen, wie z.B. Tabelle 6, vereinfacht das Verfahren.

4.2. Vollblutviskosität und Alter

Nach Dintenfass (1976) besteht ein Zusammenhang zwischen Viskosität und Alter nur insofern, als die Blutinhaltsstoffe, z.B. der zelluläre Anteil, sich mit dem Lebensalter verändern.

In der Untersuchung von Mayer (1964), konnten für Kinder und Erwachsene deutliche Unterschiede im Hämatokrit und in der Blutviskosität festgestellt werden. Weiter konnte er an einem Kollektiv von insgesamt 258 gesunden Erwachsenen keinen signifikanten Unterschied im Hämatokrit als auch in der Blutviskosität bei verschiedenen Altersgruppen männlicher Probanden feststellen. Für die verschiedenen Altersgruppen weiblicher Probanden fand sich dagegen ein deutlicher Anstieg von Hämatokrit und Blutviskosität, welcher als rheologische Umstellung in Zusammenhang mit der Menopause gedeutet wird.

Diese Ergebnisse finden ihre Entsprechung durch unsere Messungen. Auch wir fanden bei unseren männlichen Probanden keine signifikante Relation zwischen Alter und Vollblutviskosität, dagegen einen deutlichen Anstieg der Viskosität bei den weiblichen Probanden mit dem Lebensalter.

4.3. Vollblutviskosität und ABO-System

Morphologische Grundlage der Blutgruppen des ABO-Systems sind unterschiedliche Membranstrukturen der Erythrozytenoberfläche. Ein Einfluß der Blutgruppe auf die Viskosität ist deshalb nur im Hinblick auf unterschiedliches Aggregationsvermögen der Erythrozyten zu erwarten. Erythrozytenaggregation ist für die Viskosität jedoch nur unter $D = 200 \text{ s}^{-1}$, also unter Bedingungen einer Nicht-Newtonschen Flüssigkeit, von Bedeutung. Tatsächlich beziehen sich Ergebnisse des Einflusses der Blutgruppen auf die Viskosität auf Messungen, die bei Schergeschwindigkeiten unterhalb dieser Grenze ermittelt wurden. (Dintenfass, 1976). Das Ergebnis unserer Varianzanalyse, die einen Zusammenhang zwischen Vollblutviskosität und ABO-System unserer Probanden verneint, ist vielmehr als indirekter Beweis dafür zu werten, daß bei den Schergeschwindigkeiten mit denen unser Kapillarviskosimeter arbeitet, die Erythrozyten völlig frei dispers sind und deshalb Aggregationsunterschiede, wie sie sich bei verschiedenen Blutgruppen zeigen, nicht zu erwarten sind.

5. Zusammenfassung

Mit einem Kapillarviskosimeter (nach Peter, Künzel, Weber und Kreisel, 1978) werden an 197 Blutspendern die als gesunde Personen zu definieren waren, Messungen der Vollblutviskosität durchgeführt, sowie die Mittelwerte und 95%-Normalbereiche für Männer und Frauen errechnet.

Der Zusammenhang von Hämatokrit und Vollblutviskosität wird untersucht und in der Franckschen Modellgleichung eine brauchbare mathematische Formulierung gefunden, die eine bisher übliche Verdünnung auf einen Standardhämatokrit hinfällig macht.

Der Einfluß des Lebensalters auf die Vollblutviskosität kann bei Frauen nachgewiesen werden, womit Ergebnisse früherer Untersuchungen bestätigt werden. Schließlich überprüften wir den Einfluß der Blutgruppen des ABO-Systems auf die Vollblutviskosität. Ein Zusammenhang kann nicht festgestellt werden, was unter den Meßbedingungen einer Newtonschen Flüssigkeit (keine Interaktion zwischen den Teilchen) auch nicht zu erwarten ist.

6. Literaturverzeichnis

- Aronson, H.B., Magora, F., Schenker, J.G., 1971.
Effect of oral contraceptives on blood
viscosity. Am.J. Obstet.Gynec. 110, 997-1001.
- Barras, J.P., 1965, Relation entre la viscosité
sanguine et l'hématocrite. Helv.Physiol.
Acta 20, 16.
- Baxter, C.R., Frenkel, E.L., Shires, G.T. and
Crenshaw, C.A. 1967, Rheologic changes in
acute thermal burns. In 'Transactions of the
Third International Congress on Research in
Burns, 609.
- Chmiel, H., Effert, S., Mathey, D., 1973, Rheolog.
Veränderungen des Blutes beim akuten Herz-
infarkt und dessen Risikofaktoren. Dt. Med.
Wschr. 98, 1641.
- Chien, S., Usam, S., Dellenback R.J. and Gregersen
M.J., Am.J. of Physiol., Vol. 219, No. 1, 150,
(1970).
- Dintenfass, Ph., D., Milton, G.W., 1973, Blood Vis-
cosity Factors And Prognosis In Malignant
Melanoma, Med.J. of Australia, 1049.
- Dintenfass, L., 1976, Rheology of Blood in Diagnostic
and Preventive Medicine, London, Boston,
Butterworths. 49-53.

- Dormandy, J.A., Hoare, E., Colley, J., Arrowsmith, D.E. and Dormandy, T., L., 1973, Clinical, haemodynamic, rheological, and biochemical findings in 126 patients with intermittent claudication. British Med. J. 4, 581-583.
- Ehrly, A.M., Jung, G., 1973, Circardian Rhythm of Human Blood Viscosity, Biorheology, Vol.10, 577-583.
- Franck, E.U., 1953, Zur Berechnung von Zähigkeit und Diffusion in flüssigen Suspensionen und verdichteten Gasen, Chemie-Ing.-Techn., 25.Jhrg., Nr. 8/9. 442-444.
- General Diagnostics, Albustrate^R, Serum Albumin Reagent For Manual and Automated Analyses, Division of Warner Lambert Company Morris Plains, New Jersey 07950, 1974.
- Härtwig, J., Dietel, G., Drewes, U., Therapeutische Möglichkeiten zur Vermeidung von Stiellappen-Nekrosen, Me.Welt 27 124, 1976.
- Harkness, J., 1971, The Viscosity of Human Blood Plasma; its Measurement in Health and Disease, Biorheology 8, 171-193.
- Hess, W.R., Arch.f.d.Ges. Physiol. 162, 187 (1915).
- Hediger, M., o.J., Messung Rheologischer Eigenschaften, bei Contraves AG, Zürich
- Keidel, W.D., 1970, Lehrbuch der Physiologie, S. 30.

- Leonhardt, H., Uthoff, A. und Uthoff C., 1977, Vollblut- und Plasma-Viskosität bei koronaren Risikofaktoren, Klin. Wschr. 55, 481-487.
- Mayer, G.A., 1964, Blood Viscosity in Health Subjects and Patients with Coronary Heart Disease, Canad.Med.Ass.J.Oct. 31, Vol. 91, 951-954.
- Merck, 1974, Klinisches Labor, Darmstadt.
- Murata, T., Theory of Non-Newtonian Viscosity of Blood at Low Shear Rate-Effect of Rouleaux, Biorheology 13, 287-296, 1976.
- Peter, S., J. Künzel, Weber, G., Kreisel, T., A new capillary viscometer for the measurement of the flow of vital blood - theoretical and experimental experiences. Rheologica Acta in Druck
- Pöllath, M., Experimentelle und theoretische Untersuchungen zur Viskosität des vitalen menschlichen Blutes und seiner Komponenten unter Zuhilfenahme eines neuen Kapillarviskosimeters Inaug.Diss.
- Rand, P.W., Lacombe, E., Hunt, H.E., Austin, W.H., 1964, Viscosity of normal human blood under normothermic and hypothermic conditions, J. Appl. Physiol. 19(1), 117-122.
- Rosenblatt, G., Stokes, J., Basset, D.R., Whole Blood Viscosity, Haematocrit and Serum Lipid Levels in Normal Subjects and Patients with Coronary Disease., J.Lab.Clin.Med. 2, 202-211, (1965).

Schettler, G., 1976, Innere Medizin, Stuttgart.

Shadid, J.N., 1973, A Blood Fluidizing Activity,
Thrombosis Research, Vol. 3, pp. 691-703.

Shadid, J.N., 1955, Drop Studies on Blood: their
prognostic value in thromboembolism.
J.Lab.&Cli.Med. 46, 499.

Schmid-Schönbein, H., Heinrich, L., 1973, A simple
device allowing blood viscometry at low
rates of shear with the Brookfield-Vis-
cometer, Res.exp.Med. 161, 49-57.

Simonson, E., 1966, The concept and definition of
Normality Ann.N.Y.Acad.Sci. 134, 541-558.

Still, J.W., 1968, An attempt to show the links which
connect the social-psychological and
physiological events which result in
coronary thromboses, with some suggestions
for breaking the connections., In Exercise
and Fitness, p.52, Illinois, university of
Illinois Press.

Weber, G., Peter, S., Künzel, J., Kreisel, T.,
Bubmann, O., Die Anwendungsmöglichkeiten
der Viskosimetrie des vitalen menschlichen
Blutes in der inneren Medizin. Verhadlg.Dt.
Ges.Inn.Med. 84, J.F. Bergmann, München 1979

Vollblutviskosität in mPa·s bei 4 Scher-
geschwindigkeiten und Mittelwertbildung.

Alter (Jahre)	ABO- System	Hkt (%)	D (s ⁻¹)				η
			1500	2000	2500	3000	
24	AB	47	4,07	4,07	4,07	4,12	4,083
48	O	49	4,79	4,70	4,75	4,72	4,74
57	A	42	3,88	3,87	3,88	3,89	3,88
52	A	50	4,71	4,69	4,63	4,65	4,67
37	A	47	4,19	4,10	4,10	4,09	4,10
39	B	46	3,98	3,97	4,03	4,00	4,00
40	A	48	4,49	4,39	4,33	4,37	4,36
54	A	45	4,13	4,03	3,95	4,02	4,03
37	O	46	4,21	4,21	4,20	4,15	4,20
56	A	46	4,63	4,59	4,58	4,59	4,60
42	A	45	4,02	4,08	4,02	4,06	4,05
42	A	47	4,50	4,43	4,48	4,48	4,47
28	O	46	4,28	4,29	4,33	4,31	4,30
38	AB	48	3,42	3,30	3,33	3,35	3,35
45	O	46	4,20	4,20	4,12	4,14	4,17
61	O	45	5,01	4,97	4,96	4,97	4,98
40	O	46	5,03	4,94	4,91	4,92	4,92
30	O	45	4,39	4,20	4,34	4,34	4,32
52	A	40	4,30	4,44	4,39	4,38	4,40
41	O	43	4,39	4,47	4,53	4,49	4,50
45	A	44	3,99	4,07	4,08	4,05	4,06
37	A	44	4,05	4,09	4,17	4,13	4,13
43	A	46	4,34	4,30	4,29	4,27	4,30
55	A	38	3,71	4,46	4,51	4,49	4,49
50	A	44	4,09	4,08	4,04	4,06	4,07
35	A	45	4,41	4,34	4,13	4,08	4,24
30	O	42	4,16	4,26	4,21	4,24	4,22
42	O	42	4,14	4,15	4,19	4,18	4,17
33	A	42	4,25	4,17	4,12	4,17	4,18
45	O	42	4,28	4,29	4,20	4,17	4,24
40	A	42	4,05	4,14	4,06	4,01	4,07
57	O	44	4,12	4,20	4,19	4,14	4,16
47	A	46	4,80	4,81	4,70	4,70	4,75
38	O	50	4,40	4,48	4,52	4,49	4,47
21	A	42	4,05	4,08	4,08	4,07	4,07
40	A	42	4,06	4,01	3,99	3,97	4,01
25	A	44	4,55	4,61	4,61	4,60	4,59
20	B	52	4,96	5,08	5,17	5,17	5,05
41	O	42	4,11	4,03	4,12	4,10	4,09
31	AB	50	5,29	5,34	5,26	5,23	5,28
49	O	51	5,16	5,25	5,25	5,20	5,23
53	A	48					5,05
43	B	48	4,80	4,93	4,90	4,89	4,91
42	A	42	3,75	3,67	3,65	3,68	3,69
30	AB	42	3,78	3,70	3,74	3,74	3,74
46	A	42	3,80	3,75	3,72	3,69	3,74
23	AB	44	3,96	3,87	3,93	3,94	3,93
46	A	48			4,48	4,60	4,54
34	O	46	4,80	4,89	4,88	4,88	4,86
31	O	44	4,00	3,91	3,90	3,94	3,98
31	O	44	4,00	3,91	3,90	3,94	3,98
43	A	45	4,27	4,32	4,34	4,33	4,32
26	A	46	4,38	4,39	4,25	4,21	4,31
28	O	50	4,70	4,76	4,71	4,70	4,72
34	O	46	4,26	4,19	4,22	4,22	4,23

Vollblutviskosität in mPa·s bei 4 Scher-
geschwindigkeiten und Mittelwertbildung.

Alter (Jahre)	ABO- System	Hkt (%)	D (s ⁻¹)				η
			1500	2000	2500	3000	
21	O	49	4,52	4,47	4,47	4,46	4,48
40	A	46					4,44
43	A	48	4,33	4,25	4,20	4,24	4,26
50	AB	44	4,12	4,03	4,02	3,99	4,04
47	A	46	4,03	4,08	4,12	4,09	4,08
44	O	50					4,41
36	O	46	4,64	4,69 ⁿ	4,77	4,72	4,71
30	A	45	4,54	4,66	4,64	4,65	4,62
36	O	45	4,06	4,19	4,14	4,08	4,12
25	A	40	3,63	3,64	3,68	3,69	3,66
62	A	44	4,28	4,29	4,23	4,25	4,26
35	AB	48		4,39	4,40	4,44	4,41
31	B	44	4,69	4,66	4,68	4,62	4,66
33	A	43	4,11	4,09	4,13	4,12	4,11
47	O	40	4,01	4,05	4,04	4,00	4,03
46	A	38	3,43	3,41	3,37	3,34	3,39
48	B	46	4,30	4,37	4,39	4,33	4,35
45	O	46	4,77	4,82	4,80	4,77	4,79
24	O	46	3,74	3,84	4,04	4,17	3,95
54	A	40	3,91	3,82	3,76	3,81	3,83
39	A	54		5,65	5,65	5,53	5,58
49	O	46	4,10	4,30	4,31	4,30	4,25
28	O	45	4,42	4,44	4,42	4,40	4,42
46	B	46	4,46	4,41	4,49	4,49	4,46
43	A	50	4,78	4,83	4,83	4,78	4,81
44	O	46	4,47	4,47	4,50	4,50	4,50
56	O	52	5,22	5,21	5,18	5,14	5,19
51	O	42	4,06	4,01	3,98	3,97	4,01
28	O	48	4,92	4,94	4,95	4,91	4,93
33	O	43	4,18	4,15	4,11	4,12	4,14
45	A	44	3,98	4,03	4,01	3,98	4,00
44	AB	52	4,80	4,83	4,88	4,89	4,85
26	O	46	4,23	4,31	4,33	4,31	4,30
49	A	50	4,82	4,85	4,88	4,81	4,84
47	B	45	3,87	3,84	3,91	3,93	3,89
41	A	48	4,35	4,33	4,32	4,35	4,33
64	O	46	4,13	4,19	4,24	4,23	4,20
41	B	47	4,25	4,30	4,30	4,30	4,30
34	A	48	4,22	4,22	4,17	4,17	4,20
28	O	50	4,52	4,55	4,50	4,46	4,51
31	O	49	4,52	4,31	4,25	4,25	4,27
44	A	56	5,51	5,60	5,61	5,53	5,56
39	A	46	4,18	4,23	4,23	4,21	4,21
31	O	52	4,70	4,80	4,69	4,67	4,72
49	A	49	4,33	4,42	4,40	4,42	4,40
41	A	46		3,41	3,93	3,81	3,72
41	AB	50	3,97	3,74	3,80	3,96	3,87
43	O	44	4,08	4,03	4,04	4,01	4,04
35	O	45	3,94	4,05	3,97	3,98	3,99
48	O	52	4,99	5,06	4,93	4,92	4,98
27	O	45	3,99	3,96	3,89	3,90	3,94
29	O	52	5,29	5,23	5,19	5,23	5,24
27	A	49	4,51	4,49	4,56	4,53	4,52
27	A	48	3,96	3,89	3,97	3,96	3,95

Alter (Jahre)	ABO- System	Hkt (%)	D (s^{-1})				η
			1500	2000	2500	3000	
33	O	46	4,00	4,00	4,07	4,06	4,03
32	O	44	3,72	3,69	3,75	3,73	3,72
49	AB	48	4,44	4,41	4,33	4,31	4,37
23	A	45	4,12	4,10	4,04	4,02	4,07
42	A	43	4,08	4,03	4,06	4,06	4,06
40	O	43	3,90	3,93	3,96	3,96	3,94
37	A	48	4,25	4,22	4,14	4,13	4,19
36	O	47	4,15	4,13	4,06	4,03	4,09
40	O	40	4,14	4,12	4,16	4,15	4,14
65	A	50	4,54	4,54	4,54	4,56	4,55
51	A	48	4,59	4,53	4,56	4,51	4,55
41	A	46	4,13	4,20	4,18	4,15	4,17
27	O	44	4,06	4,07	4,00	4,00	4,03
27	O	47	3,93	3,86	3,83	3,82	3,86
29	A	41	3,59	3,55	3,58	3,57	3,57
48	A	42	3,92	3,84	3,84	3,85	3,86
43	O	48	4,46	4,37	4,40	4,37	4,40
50	A	46	4,02	4,05	4,01	3,97	4,01
39	A	52	4,75	4,81	4,90	4,81	4,82
33	A	48	3,80	3,76	3,75	3,90	3,80
36	A	48	4,09	4,07	4,09	4,03	4,07
35	AB	40	3,61	3,58	3,58	3,56	3,58
48	O	47	3,93	3,98	3,97	3,94	3,96
43	O	46	4,15	4,18	4,24	4,21	4,20
24	O	46	4,28	4,32	4,39	4,34	4,33
49	O	45	4,05	4,02	3,98	4,01	4,02
41	O	48	4,09	4,11	4,15	4,12	4,12
38	A	46	4,19	4,29	4,39	4,10	4,23
33	A	46	3,87	3,80	3,71	3,73	3,78
31	A	45	3,83	3,86	3,78	3,82	3,82
53	A	48	4,42	4,41	4,48	4,49	4,45
47	B	46	4,2 O	4,25	4,30	4,28	4,26
30	O	50	4,43	4,47	4,51	4,50	4,48
53	O	65	6,52	6,56	6,54	6,43	6,50
49	A	42	4,22	4,07	4,27	4,23	4,20
39	AB	46	3,92	3,91	3,99	3,98	3,95
32	A	40	3,78	3,78	3,85	3,84	3,81
41	A	42	4,02	4,02	4,05	4,02	4,03
41	A	45	3,77	3,87	3,86	3,90	3,85
50	A	42	4,11	4,02	4,12	4,09	4,09
22	A	47	4,18	4,14	4,23	4,20	4,19
34	O	44	4,08	4,09	4,07	4,01	4,06
45	B	42	4,02	4,02	4,05	4,00	4,02
41	A	46	4,52	4,56	4,50	4,45	4,51
46	O	42	4,11	4,22	4,26	4,23	4,21
37	AB	54	5,05	5,68	5,67	5,62	5,50
46	O	50	4,61	4,63	4,58	4,61	4,61
38	B	43	3,94	3,98	4,01	3,97	3,98
43	B	48	4,39	4,46	4,46	4,45	4,44
51	O	46	3,90	3,89	3,89	3,89	3,89
32	AB	39	3,48	3,50	3,51	3,53	3,51
22	B	36	2,96	2,96	2,93	2,97	2,96
31	O	39	3,67	3,55	3,61	3,60	3,61
49	O	42	3,72	3,73	3,80	3,79	3,76

Alter (Jahre)	ABO- System	Hkt (%)	D (s ⁻¹)				$\bar{\eta}$
			1500	2000	2500	3000	
42	O	46	437	4,28	4,24	4,25	4,29
24	A	36	3,32	3,30	3,34	3,34	3,33
25	O	40	3,91	3,89	3,85	3,81	3,87
36	AB	40	3,65	3,64	3,57	3,60	3,62
61	A	40	3,74	3,63	3,65	3,68	3,68
39	O	40	3,45	3,49	3,51	3,49	3,49
41	A	42	3,67	3,67	3,64	3,65	3,66
26	O	42	3,69	3,70	3,67	3,69	3,69
32	A	42	3,71	3,66	3,60	3,61	3,65
43	O	43	3,52	3,52	3,59	3,55	3,55
26	A	32	3,37	3,29	3,22	3,23	3,27
67	B	40	3,95	3,91	4,00	4,02	3,98
44	O	46	3,92	3,88	3,85	3,82	3,87
23	A	42	3,46	3,44	3,39	3,43	3,43
24	A	41	3,47	3,47	3,43	3,40	3,42
46	O	42	3,92	3,87	3,86	3,84	3,87
43	O	41	3,47	3,43	3,43	3,44	3,44
66	O	40	4,32	4,38	4,19	4,34	4,31
26	A	43	3,58	3,51	3,50	3,51	3,53
25	A	38	3,20	3,19	3,14	3,12	3,16
26	B	40	3,34	3,39	3,41	3,37	3,38
22	O	38	3,24	3,17	3,18	3,19	3,19
28	A	42	3,91	3,91	3,97	3,94	3,93
55	O	40	3,85	3,80	3,71	3,71	3,77
27	O	38	3,66	3,67	3,66	3,61	3,65
32	O	43	3,91	3,87	3,82	3,86	3,87
35	O	46	3,90	3,91	3,92	3,97	3,93
42	A	42	3,88	3,86	3,91	3,88	3,88
41	O	40	4,40	4,38	4,42	4,39	4,39
47	A	42	4,04	4,02	4,11	4,10	4,07
45	O	43	4,06	4,13	4,18	4,18	4,18
33	O	40	3,90	3,94	3,90	3,88	3,91
60	A	40	3,80	3,86	3,73	3,75	3,79
50	A	44	4,15	4,21	4,27	4,20	4,19
30	A	42	4,24	4,25	4,29	4,25	4,26
48	O	40	3,94	3,92	3,93	3,93	3,94

Lebenslauf

Am 4.2.1949 wurde ich als drittes Kind des kaufm.
Angestellten Günther Neeck und seiner Ehefrau
Martha, geb. Lange in Erlangen/Bayern geboren.

Von 1956 bis 1962 besuchte ich die Volksschule in
Nürnberg, anschließend von 1962 bis 1966 die Ge-
werbemittelschule ebenfalls in Nürnberg.

Nach einem zweijährigen Praktikum in der Elektronik-
Industrie erwarb ich 1970 am Nürnberg-Kolleg die
Hochschulreife.

Bis 1976 studierte ich an der Friedrich-Alexander-
Universität in Erlangen das Fach Medizin und legte
im selben Jahr das Staatsexamen mit der Gesamtnote
"gut" ab.

Offsetdruck-Fotodruck

J. Hegl, 8520 Erlangen, Hauptstr. 109 (Nähe Martin-Luther-Platz) Tel. 22990